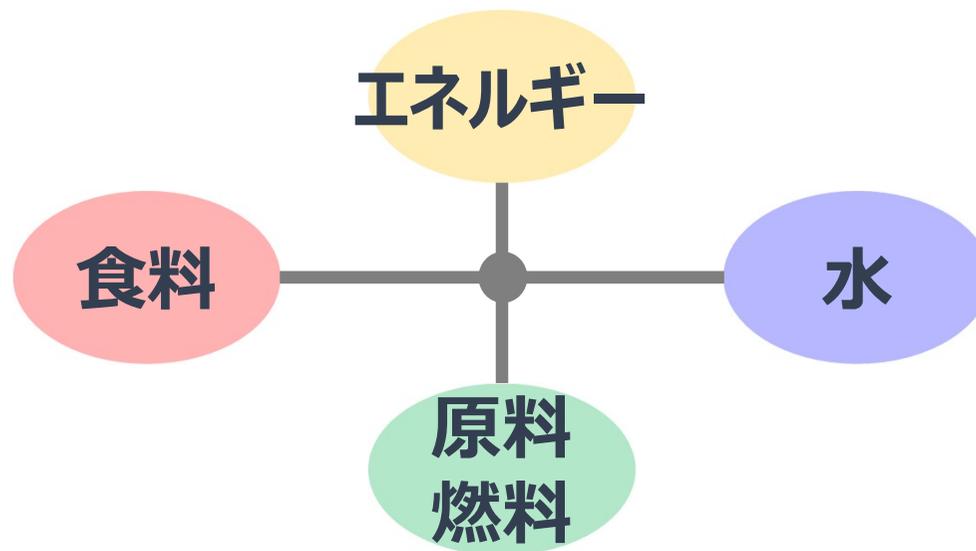
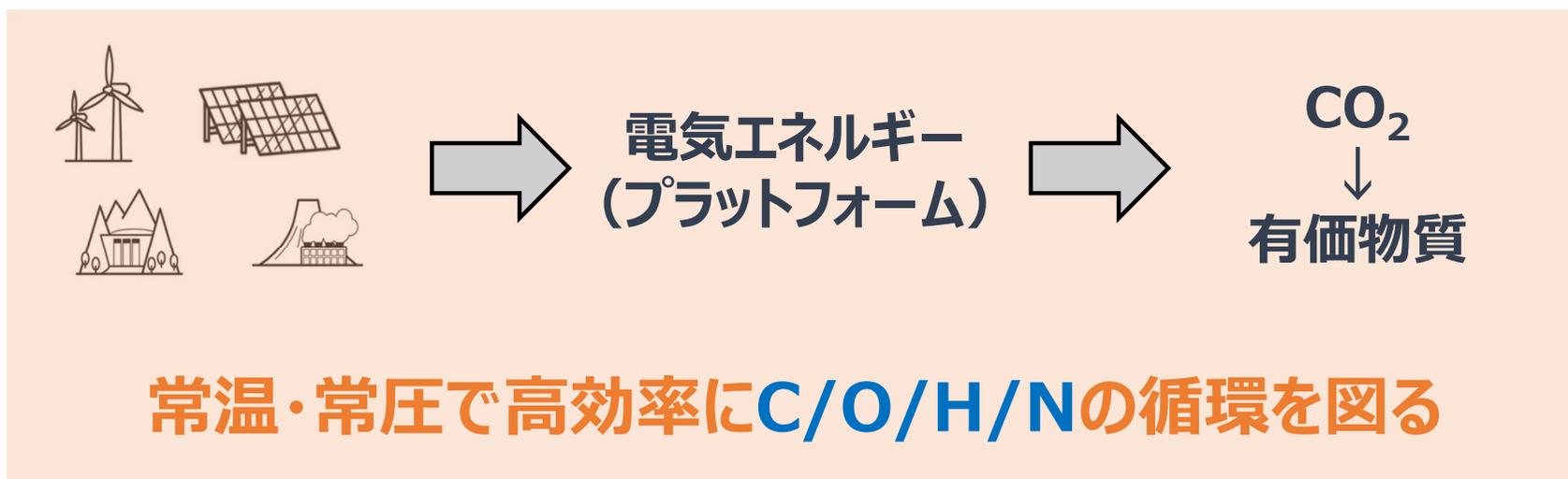


電気化学的手法をベースとするCO₂の資源化 ～燃料・原料・食料の生産～



大阪大学・基礎工学研究科附属太陽エネルギー化学研究センター
中西 周次

電気化学的手法をベースとするCO₂の資源化 ～燃料・原料・食料の生産～



大阪大学・基礎工学研究科附属太陽エネルギー化学研究センター
中西 周次

人類活動によるCO₂排出

25~36
Gton/year



=

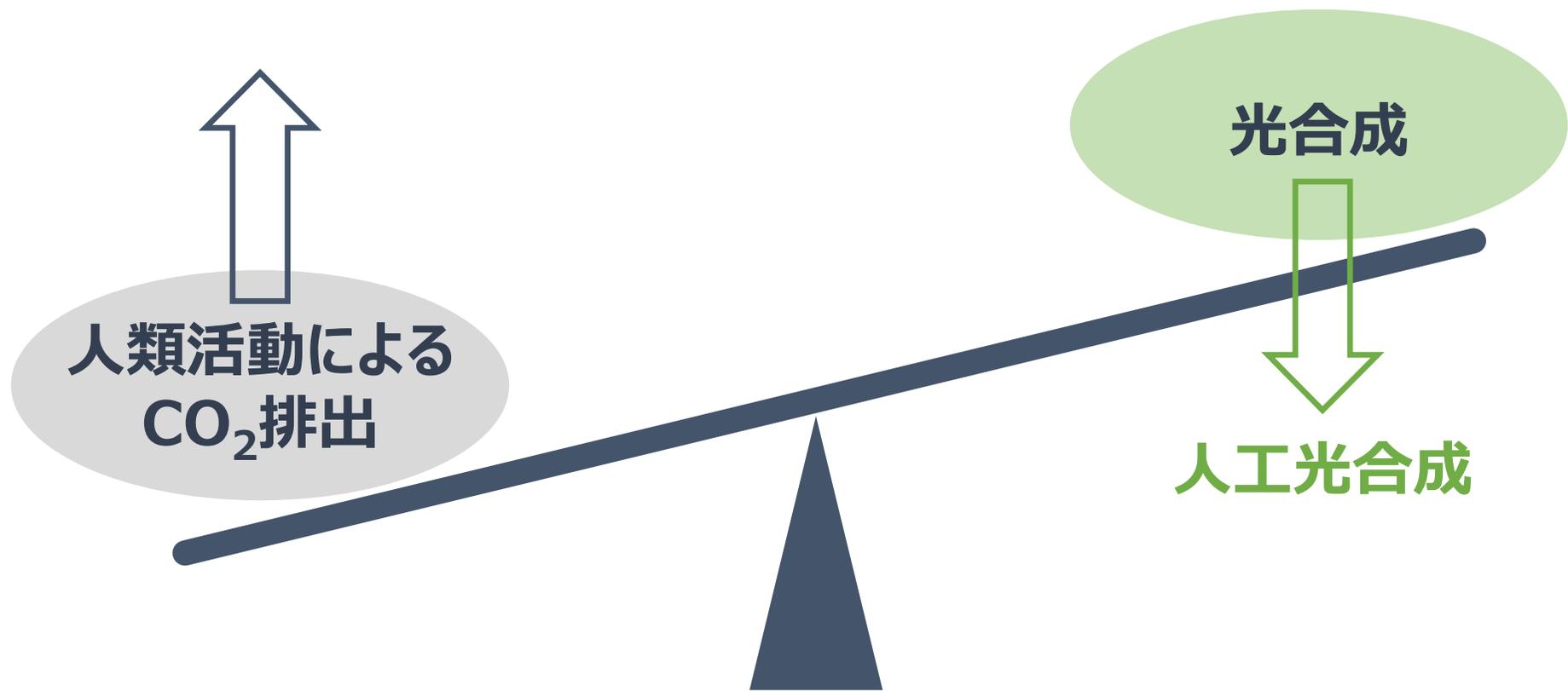
自然活動由来の
CO₂排出



x 80

Carbon Cycle, <https://airs.jpl.nasa.gov/resources/157/carboncycle/>.
C. A. Suarez, M. Edmonds, A. P. Jones, Elements 2019, 15, 301.
CO₂ emissions, <https://ourworldindata.org/co2-emissions>.

カーボンニュートラル



CO₂資源化の必要性

- **削減すべき対象**
- **燃料・原料・食料のための炭素源**

アウトライン

1. CO₂の還元資源化

天然光合成と人工光合成

2. 電気化学的手法によるCO₂資源化

3. 食料生産とCO₂問題

光合成の基本スキーム

還元反応

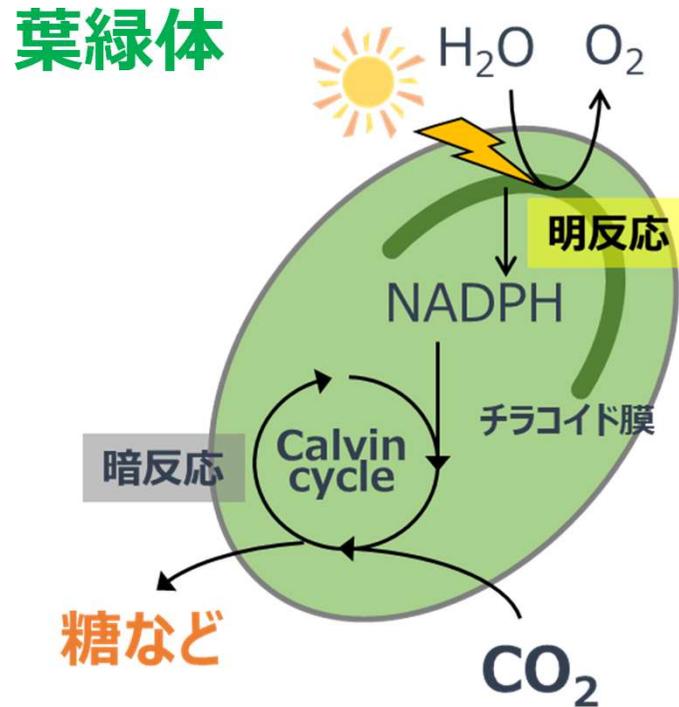


酸化反応



太陽光エネルギー

H₂Oの酸化反応で取り出した電子を
太陽光エネルギーによって汲み上げて
CO₂の還元反応に利用して有機物を得る



明反応：還元力の獲得



暗反応：CO₂の還元固定化

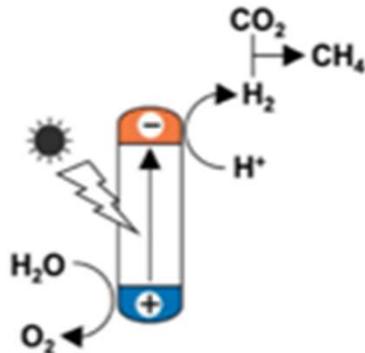


H₂Oの酸化反応で取り出した電子を
太陽光エネルギーによって汲み上げて
CO₂の還元反応に利用して有機物を得る

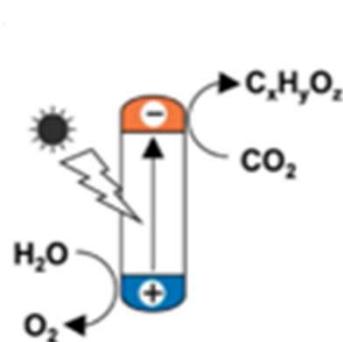
Integrated artificial photosynthesis

Technical photosynthesis

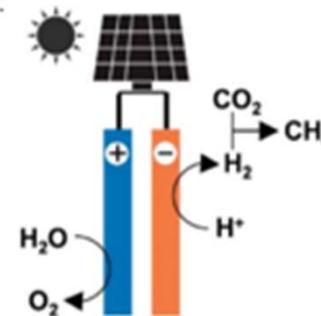
光触媒/ H_2 経由



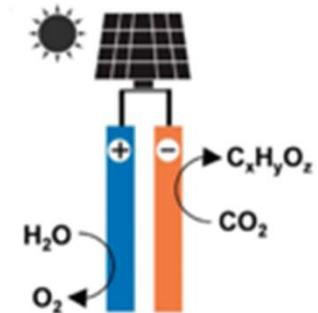
光触媒/直接還元



電気化学/ H_2 経由



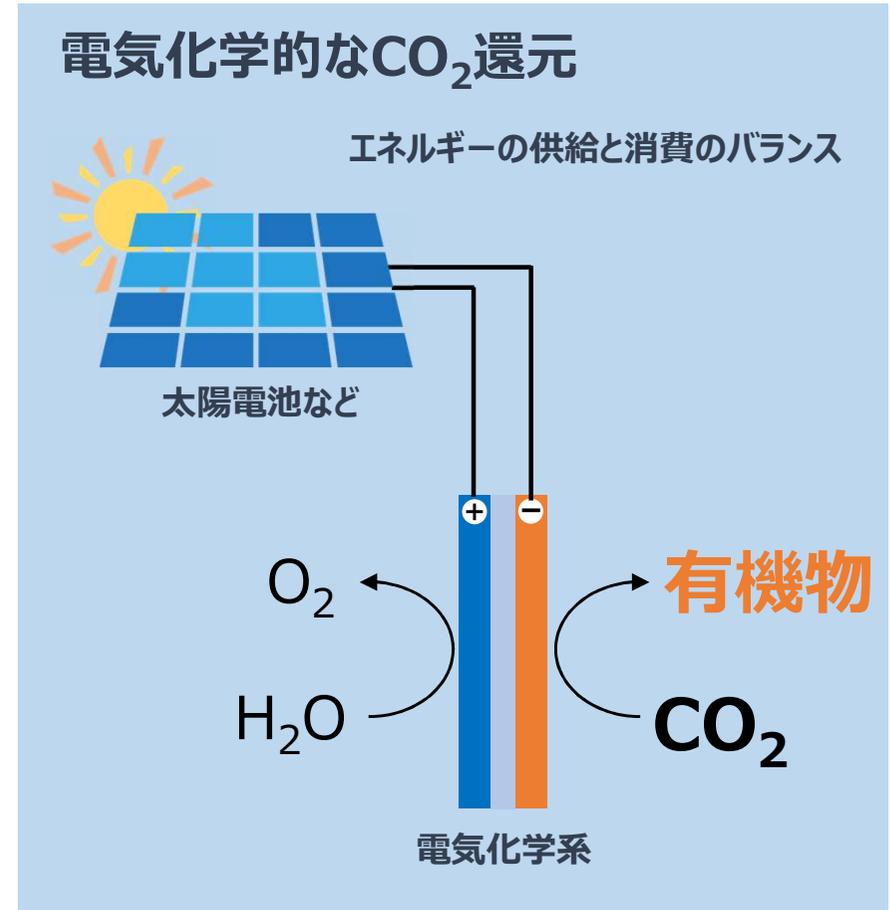
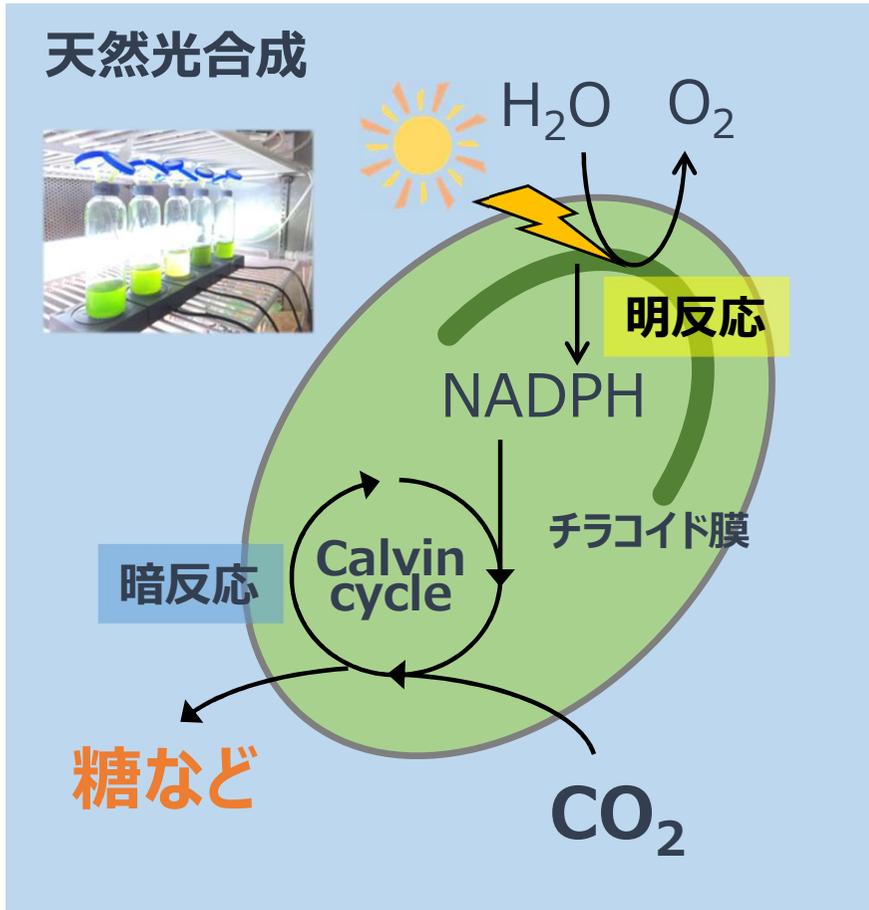
電気化学/直接還元



- 高速
- 多様な生成物
- 電位制御
- 自由なシステム設計

Chemistry Letters, 50, 166-179 (2021).

**H_2O の酸化反応で取り出した電子を
太陽光エネルギーによって汲み上げて
 CO_2 の還元反応に利用して有機物を得る**



明反応：還元力の獲得
暗反応：CO₂の還元固定化



糖などの複雑有機物の光合成

再エネ電力と電解還元の組み合わせ

環境や社会情勢の変化に応じて
要素デバイスの自由な繋ぎ変えが可能

アウトライン

1. CO₂の還元資源化

天然光合成と人工光合成

2. 電気化学的手法によるCO₂資源化

3. 食料生産とCO₂問題

最初の電気化学的二氧化碳還元の世界

F. Fischer, O. Prizizza, Ber. Deut. Chem. Ges. 47 (1914) 256.
Znアマルガム電極上のCO₂還元によるHCOOH生成

二氧化碳還元をエネルギー蓄積に活用すべきであるという提案

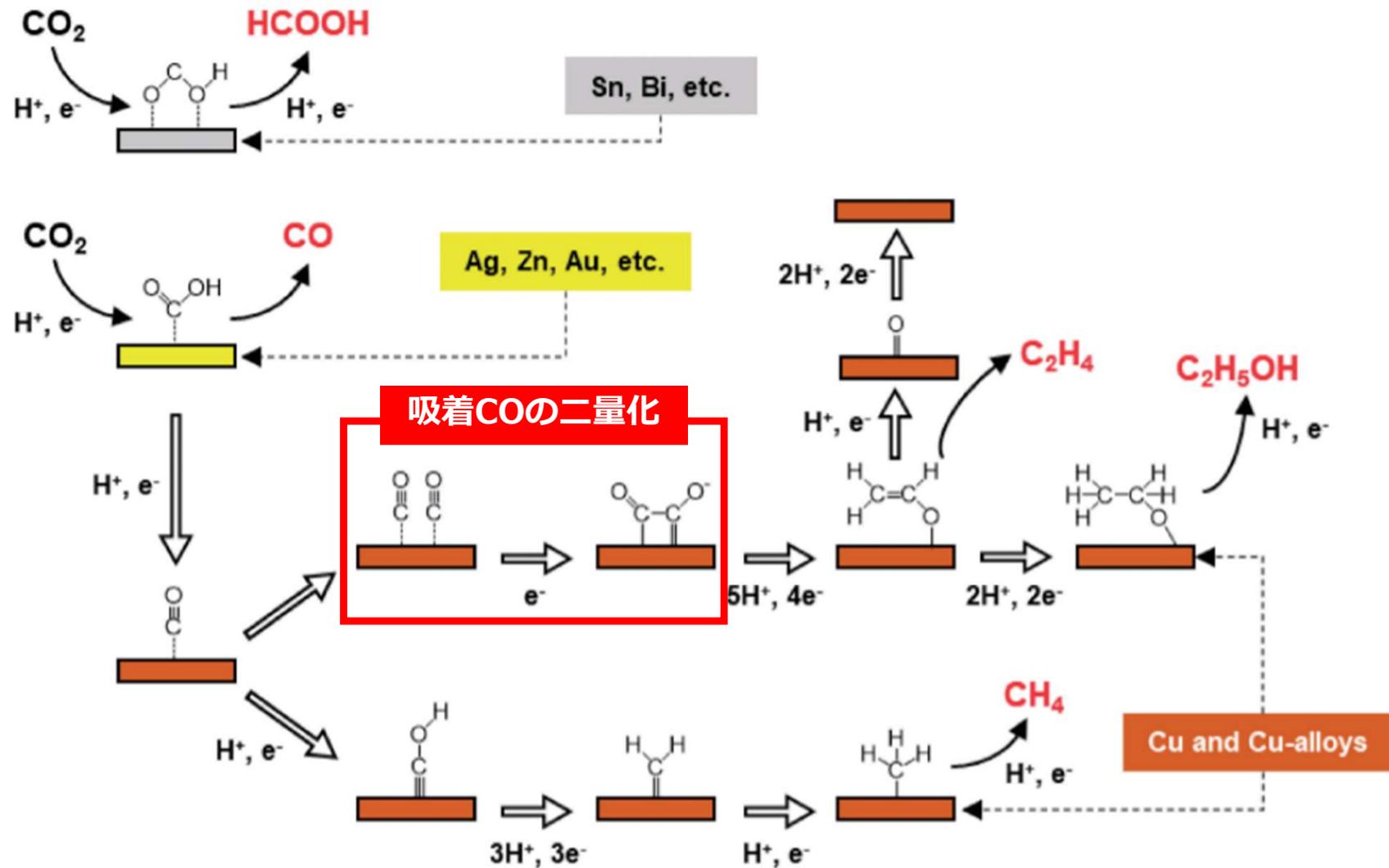
R. Williams et al., Appl. Phys. Lett. 23 (1978) 381.

深夜電力や自然エネルギー有効利用へ向けての提案

堀善夫、他、千葉大学工学部研究報告32 (1981) 37.

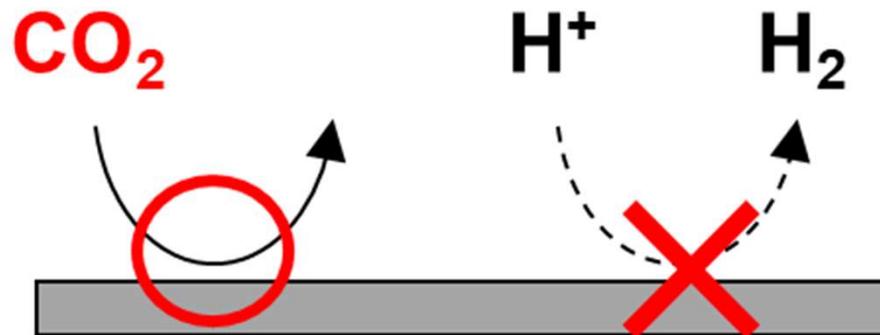
「CO₂還元の工業化を検討するにしても、それはかなり遠い将来であろうが、そのときにCO₂の化学的固定の方法として、どんな方法が優れているか、まだ即断を許す段階ではない。」

CO₂還元反応の経路

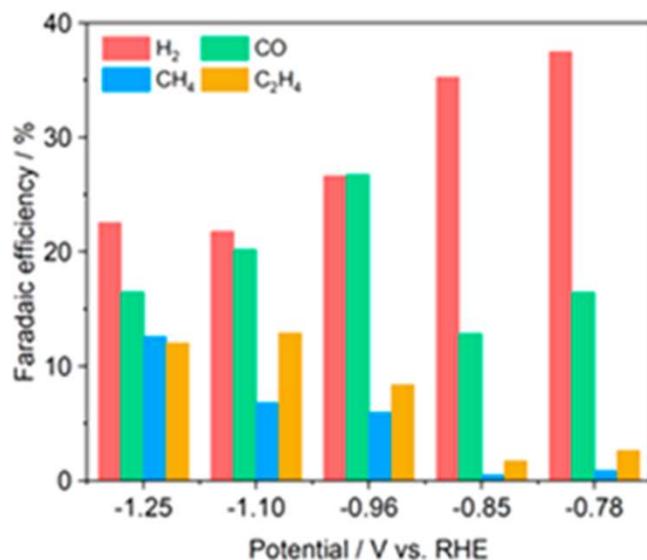


Y. Hori, in Modern Aspects of Electrochemistry. C. G. Vayenas, R. E. White, M. E. Gamboa-Aldeco Springer, New York, 2008, Vol. 42, p. 89 などを元に作成

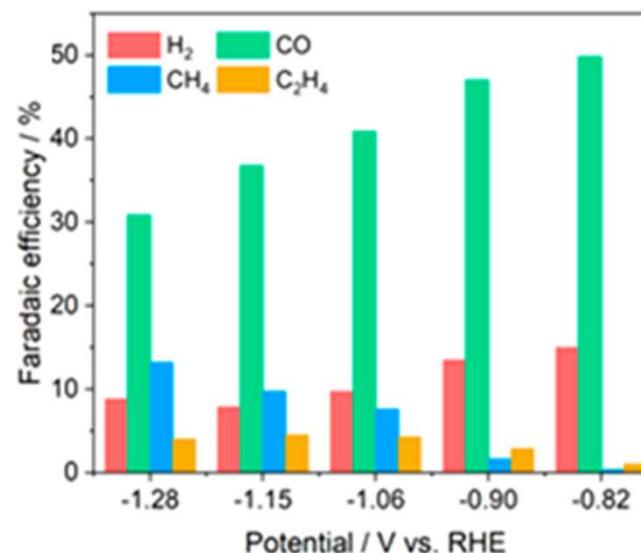
還元反応



Cu触媒



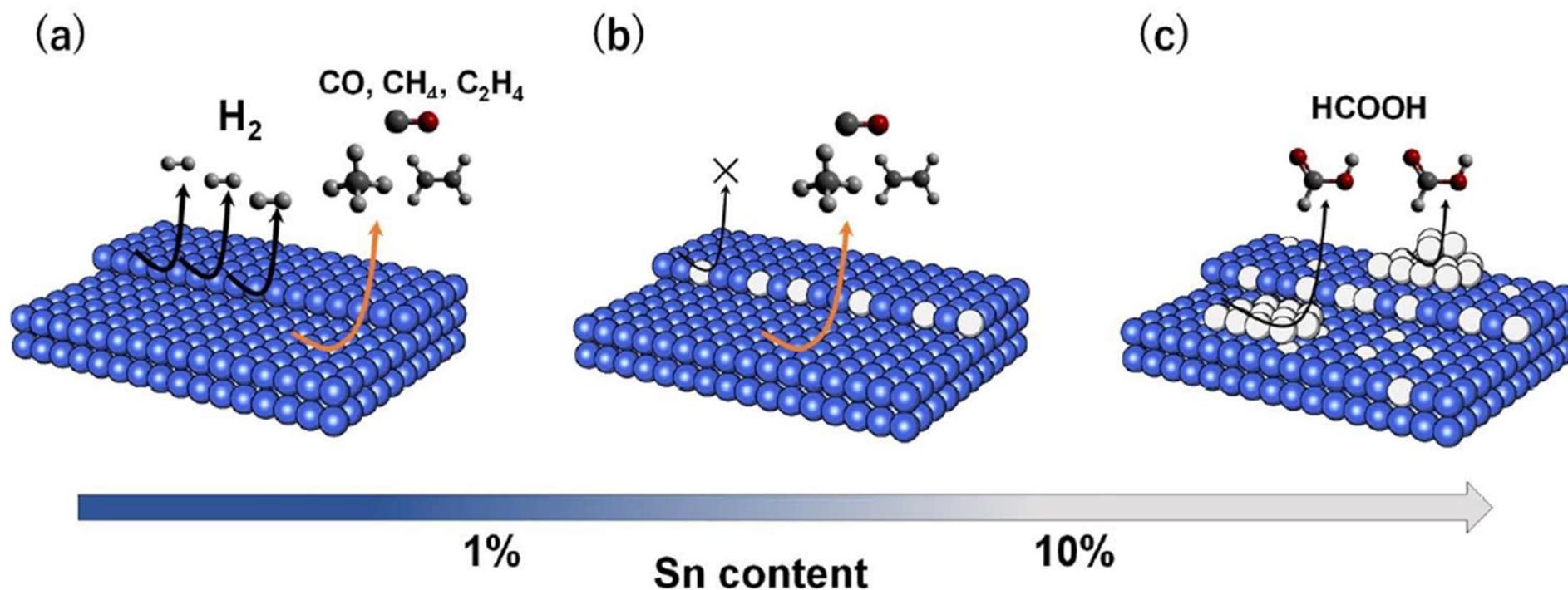
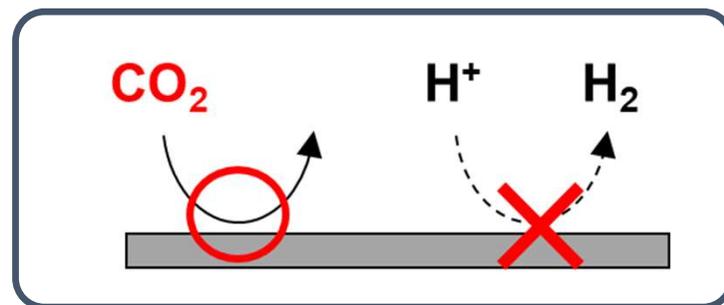
Sn修飾Cu触媒 (Sn:0.5%)



微量異種金属修飾によるCO₂電解の優先化

CO₂電解反応の優先化（H₂発生抑制）

-16-

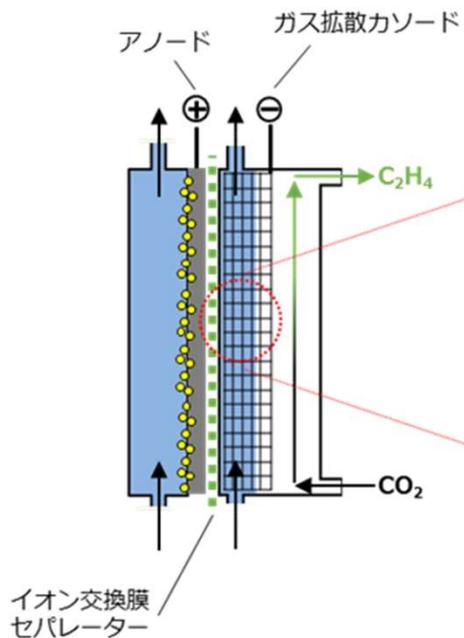


CO₂電解

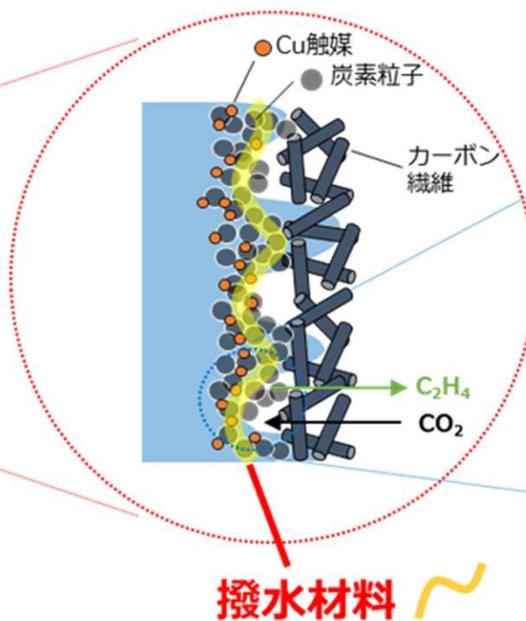
	従来型電解リアクタ	新型電解リアクタ
電極	液体浸漬型電極	ガス拡散電極
CO ₂ 供給方法	液体 (バブリング)	気体
反応速度	1 (規格化)	100~1000
電極作成難度	易	難 三相界面の形成が必要

リアクタ構造 詳細

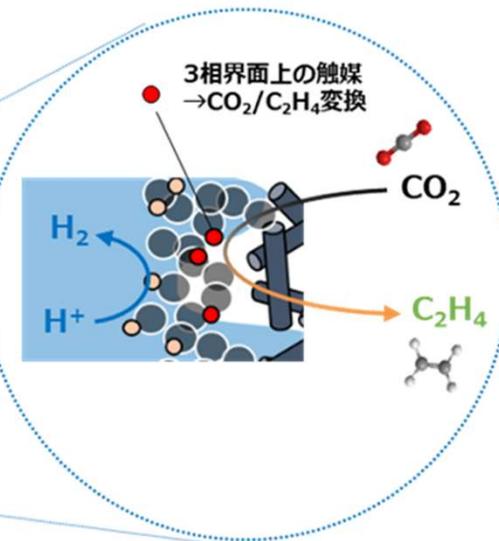
電解リアクター



ガス拡散電極

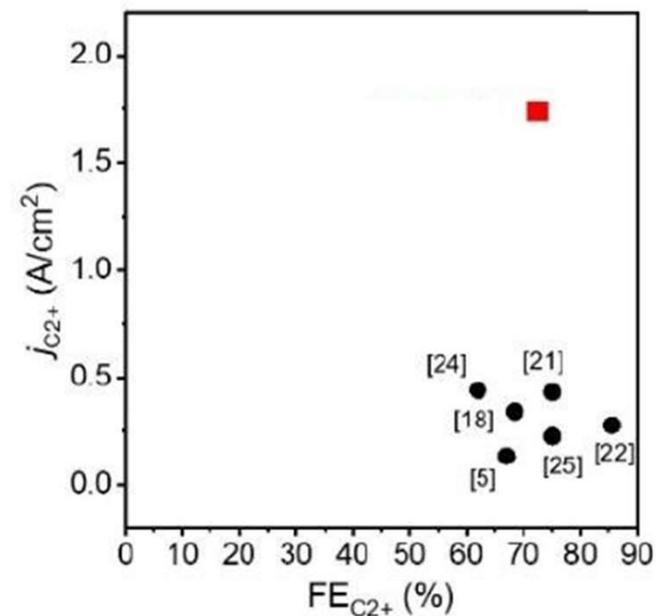
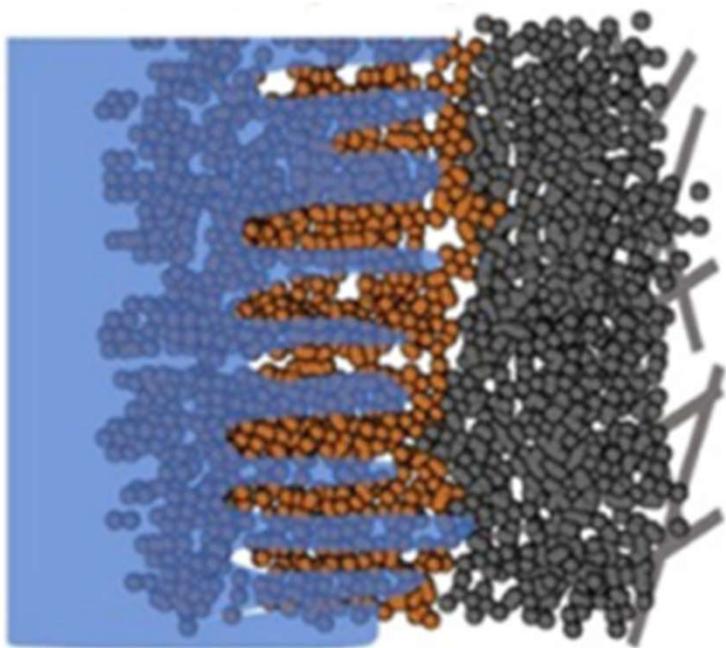
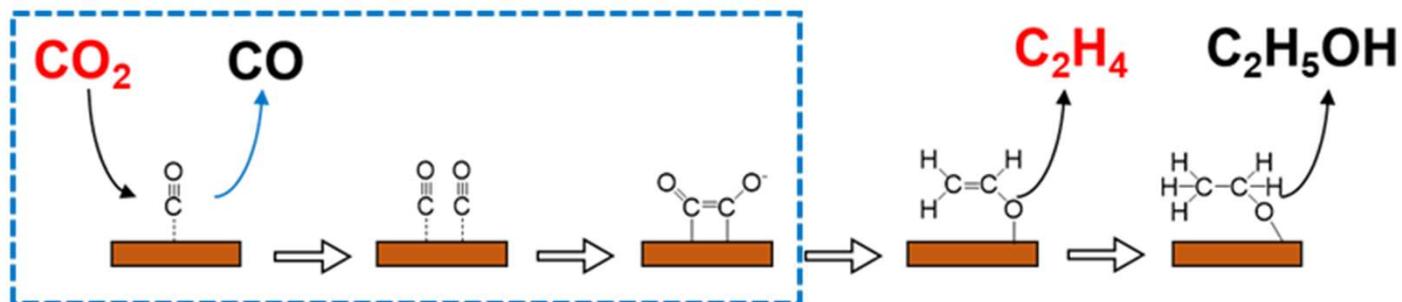


電極触媒



超・高速化 ($> 1 \text{ A/cm}^2$)

■ エチレン (C_2H_4) の生成



CO₂電解の生成物

■ 合成ガス (H₂+CO)

フィッシャー・トロプシュ反応との連結による炭化水素生産

■ エチレン (C₂H₄)

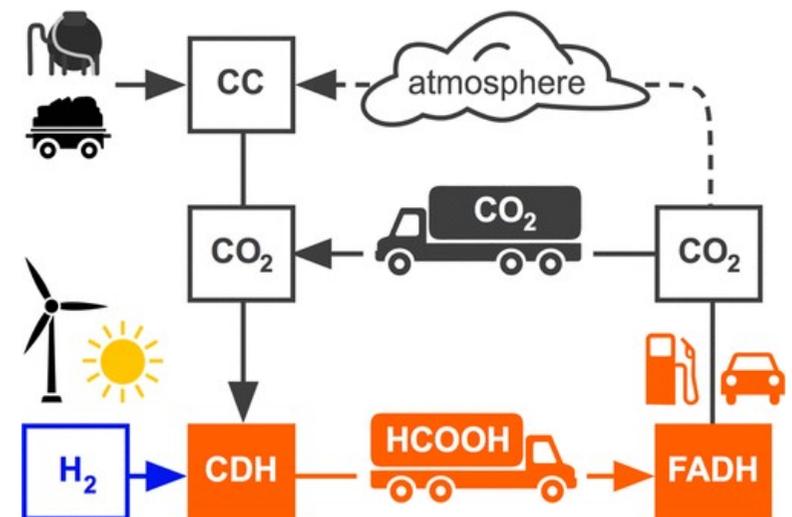
ブタジエンやエチレングリコールなどの原料

■ ギ酸 (HCOOH)

水素キャリア
微生物培養の還元力

■ ホルムアルデヒド (HCHO)

食料生産？



アウトライン

1. CO₂の還元資源化

天然光合成と人工光合成

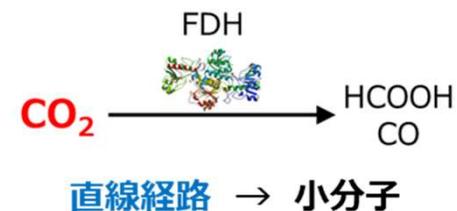
2. 電気化学的手法によるCO₂資源化

3. 食料生産とCO₂問題

■ 生物学的なCO₂の資源化機構 (全7種類)

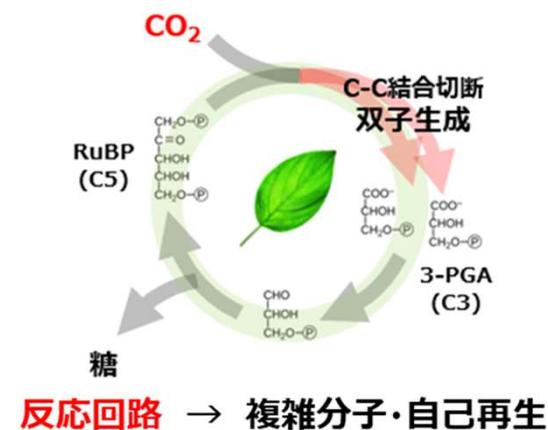
□ 直線的な反応経路 (1種)

- Wood-Ljungdahl pathway



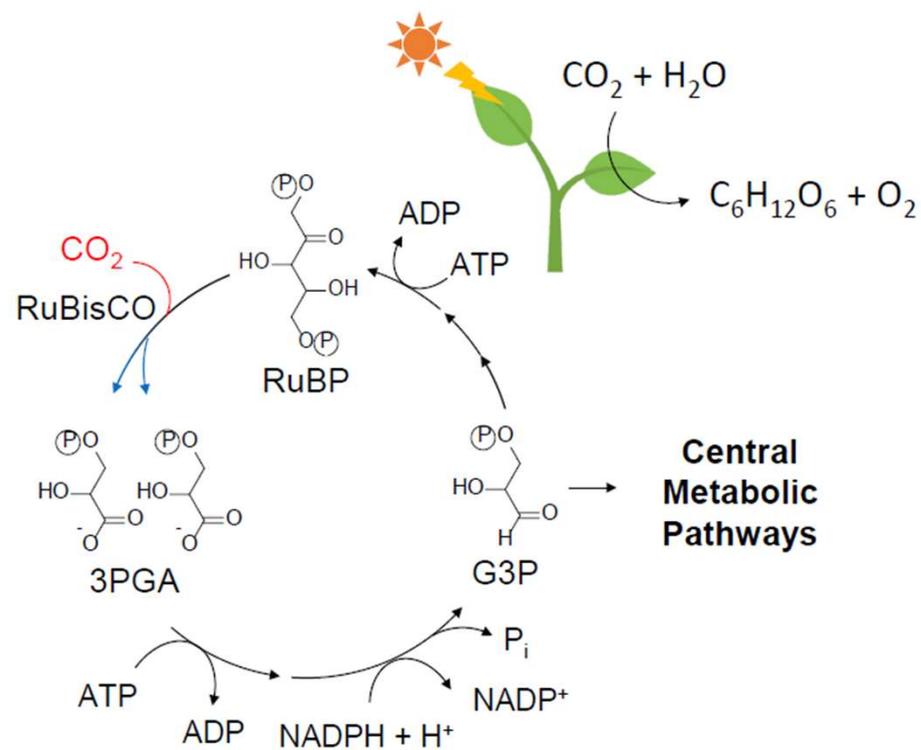
□ サイクル状の反応経路：反応回路 (6種)

- Calvin cycle
- 3-hydroxypropionate bi-cycle
- 3-hydroxypropionate-4-hydroxybutyrate cycle
- Dicarboxylate-4-hydroxybutyrate cycle
- Reductive TCA cycle
- Reductive glycine cycle

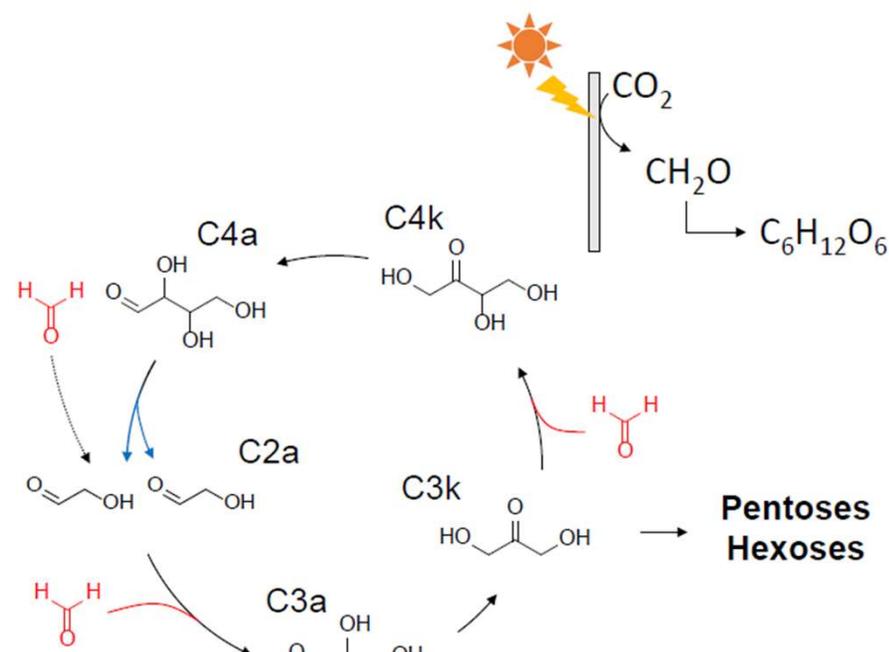


	生成物	生成物カテゴリー	競合技術	要求事項
直線経路	小分子 CO, HCOOH, C ₂ H ₄ など	燃料・原料	石油化学工業	大量・高速・安価
反応回路	糖含有水溶液	食料	農業	少量・低速 (高価)

■ 天然光合成（カルビン回路）



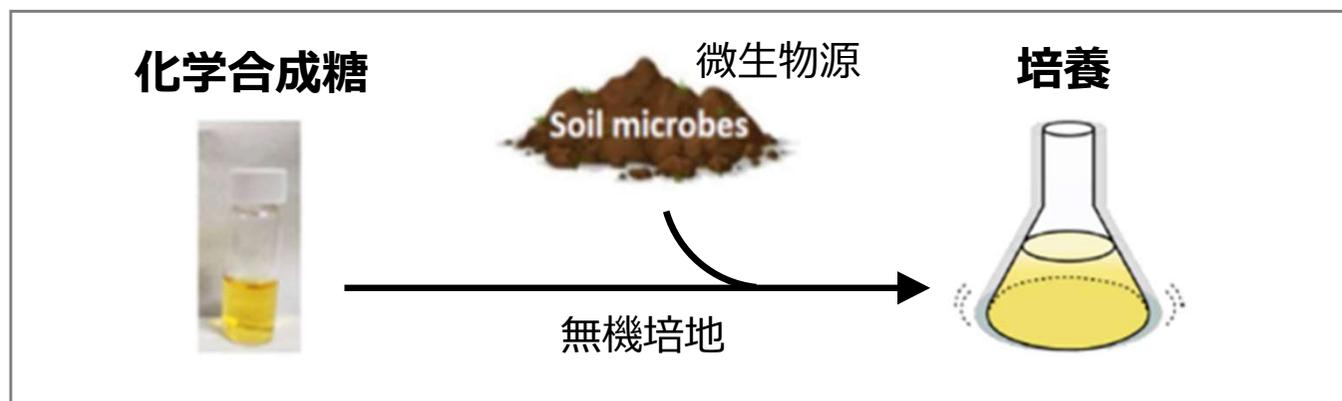
■ もうひとつの人工光合成（人工反応回路）



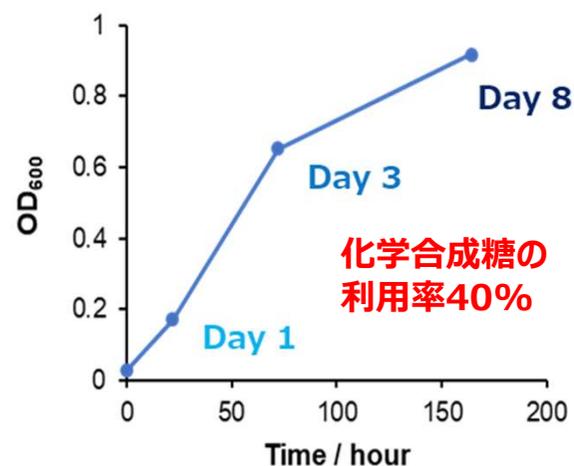
糖の化学合成



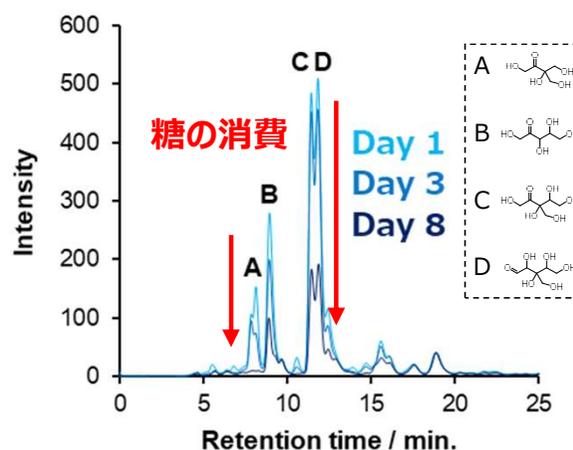
食料生産へ



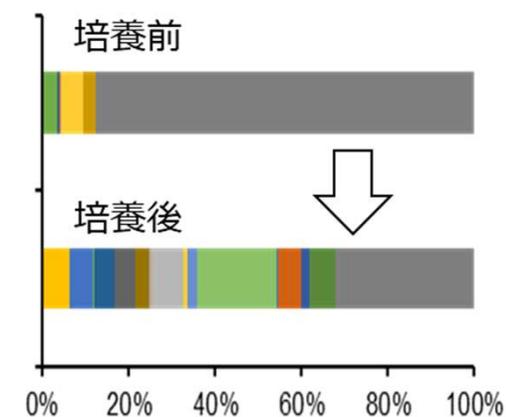
① 生育の確認



② 糖の定量分析



③ 菌叢の解析



■ オイルリファイナー



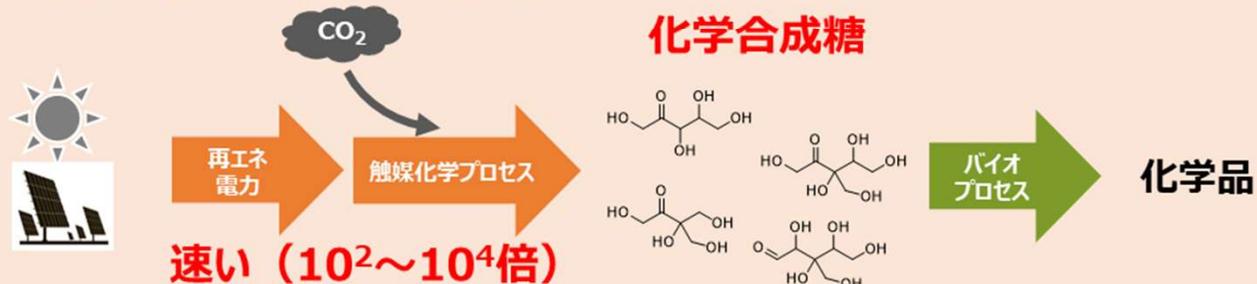
- 高速・大量・安価
- × 大量のCO₂を排出

■ バイオリファイナー



- 低炭素
- × CO₂固定が遅い
- × 環境変動の影響が大きい
- × 地域特性が大きい

■ 電気化学ーバイオ融合



- 低炭素
- CO₂固定が速い
- 環境変動の影響を受けない
- 地域特性が小さい
- × 技術が未完成